

超导物理作业

董建宇 202328000807038

1. (1) 超导有哪些基本特性？讨论超导体与理想导体的区别。

超导体具有**零电阻**和**完全抗磁性 (Meissner 效应)**。

对于超导体，在临界温度以上 (正常态) 施加磁场，随后降低温度至临界温度以下进入超导态，超导体内部的磁场会被排出，超导体内部磁感应强度为 0，撤去磁场后，超导体内部磁感应强度仍为 0；

对于理想导体，在临界温度以上施加磁场，随后降低温度至临界温度以下，此时磁感线仍穿过理想导体，此时撤去外磁场，会产生感生电流，使得理想导体内部磁感应强度保持不变。

- (2) 如何确定超导体电阻是否确实为零？

将超导材料加工成环形，通入电流，测量其周围磁感应强度随时间变化，若磁感应强度不随时间变化，则电流不变，即超导体电阻为零。

- (3) 列出你所知道的几种转变温度高于 40K 的超导体。

铁基超导体如：铁硒 (FeSe) 薄膜；铜基超导体如：Bi-Sr-Ca-Cu-O 薄膜 (2212、2223)。

2. 如何在一个超导环中产生电流？对一个用半径 $r_1 = 0.1mm$ 超导线做成的半径 $r_0 = 1mm$ 的超导环，如环中心磁场为 $10^{-3}T$ ，估计环流 I_s 的大小。估计超导环表面的磁场大小。

在临界温度以上，将超导环放置在磁场环境下待系统进入稳定状态，此时超导环内没有电流；随后将温度冷却至临界温度以下，超导环进入超导态，此时撤去磁场，超导环内就会产生电流。

超导环中心磁场强度大小为：

$$B = \frac{\mu_0 I_s}{2r_0}.$$

可以计算环流大小约为：

$$I_s = 1.59A.$$

当该环流均匀流过超导环截面时，可以计算超导环表面磁场为：

$$B_s = \frac{\mu_0 I_s}{2\pi r_1} = \frac{10}{\pi} B = 3.18 \times 10^{-3}T.$$

3. (a) 利用自有能函数, 推导超导体在 T_c 处比热的跳变变化 $\Delta C/C_n = (C_n - C_s)/C_n$ 。根据表 1 所列的超导转变温度 T_c 和零温下临界磁场 $B_c(0)$ 的值计算超导体铝、铌、铅的 $\Delta C/C_n$ 。

	Al	Nb	Pb
T_c [K]	1.2	9.6	7.2
$B_c(0)$ [mT]	99	198	80
$\Delta C/C_n$ (Experimental)	1.4	1.9	2.7

可以计算:

$$(\Delta C)_{T_c} = T_c \left(\frac{\partial(S_s - S_n)}{\partial T} \right) \Big|_{T_c} = \frac{4\mu_0 H_c^2(0)}{T_c}.$$

对于正常态, 热容为:

$$C_n = \gamma T_c.$$

利用 $\frac{H_c^2(0)}{T_c^2} = \frac{\gamma}{2\mu_0}$ 则有:

$$\frac{\Delta C}{C_n} = 2.$$

如果带入实验数据, 其中 $\gamma' = \gamma \times \frac{\rho}{M}$, 可以计算得

	Al	Nb	Pb
$\Delta C/C_n$	1.60	1.92	2.40

- (b) 根据超导典型的微观理论-BCS 理论, 正常态和超导态单位体积自由能的差是 $(1/4)N_F\Delta^2(0)$ 。这里 N_F 为费米面附近的电子态密度, $\Delta(0)$ 是 $T = 0$ 的超导能隙。利用 *Sommerfeld* 自由电子表达式以及表 2 中所列的 $\Delta(0)$, 电子比热系数 γ , 摩尔质量 M 和密度 ρ 值, 计算 $\Delta C/C_n$ 。

	Al	Nb	Pb
$\Delta(0)$ [meV]	0.17	1.52	1.37
γ [mJ mol ⁻¹ K ⁻²]	1.35	7.79	2.98
M [g mol ⁻¹]	27.0	92.9	207.2
ρ [g cm ⁻³]	2.7	8.4	11.4

根据 *Sommerfeld* 自由电子模型, 可以计算费米面处态密度为:

$$N_F = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \sqrt{E_F} = \frac{m}{\pi^2 \hbar^2} \left(\frac{3\pi^2 N}{V} \right)^{1/3}.$$

利用 $\frac{\rho V}{M} = \frac{N}{N_A}$ 可得 $\frac{N}{V} = \frac{\rho N_A}{M}$ 。则态密度为:

$$N_F = \frac{m}{\pi^2 \hbar^2} \left(3\pi^2 \frac{\rho N_A}{M} \right)^{1/3}.$$

正常态与超导态单位体积自由能的差为:

$$\frac{1}{4}N_F\Delta^2(0) = \frac{1}{2}\mu_0H_c^2.$$

则比热跳变变化为:

$$\frac{\Delta C}{C_n} = \frac{\mu_0 T_c}{\gamma T_c} \left(\frac{\partial H_c}{\partial T} \right)^2 = \frac{4\mu_0 H_c^2}{\gamma' T_c^2}.$$

其中:

$$\gamma' = \gamma \frac{\rho}{M}.$$

代入数据可以计算得到:

	Al	Nb	Pb
$\Delta C/C_n$	0.77	0.18	0.93

(c) 如何扣除晶格比热贡献。

Using a high resolution differential technique we could determined from 1.8 to 300 K the difference in electronic terms between $YBa_2(Cu_{1-y}Zn_y)_3O_{7-\delta}$ ($0 \leq y \leq 0.1$) and a $YBa_2(Cu_{0.93}Zn_{0.07})_3O_{7-\delta^*}$. reference sample for which superconductivity was almost entirely suppressed (δ and $\delta^* \approx 0.03$)